

SUM SUSTAINABLE URBAN MOBILITY

Linee guida per la mobilità
sostenibile nelle aree
urbane

PRIN 2009



REPORT 2.1

AZIONI INTEGRATE TRASPORTI-TERRITORIO PER LA SOSTENIBILITÀ: IL MODELLO MATEMATICO D'INTERAZIONE TRASPORTI-TERRITORIO

REPORT 2.1 – AZIONI INTEGRATE TRASPORTI-TERRITORIO PER LA SOSTENIBILITÀ:

IL MODELLO MATEMATICO D'INTERAZIONE TRASPORTI-TERRITORIO

Sommario

1	Introduzione	4
2	Specificazione	5
2.1	Il modello di localizzazione delle residenze	6
2.2	Localizzazione urbana delle attività produttive	10
2.3	Il modello del sistema dei trasporti	14
2.4	Il sistema di modelli di interazione trasporti-territorio	16
3	I parametri del modello	19
3.1	Calibrazione	23
3.1.1	Calibrazione del modello di generazione del sistema di trasporto	24
3.1.2	Calibrazione del modello di distribuzione del sistema di trasporto	24
3.1.3	Calibrazione del modello di scelta modale del sistema di trasporto	25
3.2	Calibrazione del modello di localizzazione delle residenze	26
3.3	Calibrazione del modello di localizzazione delle attività economiche	26
4	Validazione	27
4.1	Validazione del modello del sistema di trasporto	27
4.1.1	Il modello di generazione e distribuzione (Matrice OD)	27
4.1.2	Il modello della scelta modale	29
4.2	Validazione del modello di localizzazione delle residenze	30
4.3	Validazione del modello di localizzazione delle attività economiche	31
	References	33

1 Introduzione

Nel seguente documento sono descritte le differenti fasi (specificazione, calibrazione e validazione) che hanno consentito la messa a punto un sistema di modelli integrato di simulazione Trasporti-Territorio (STIT), per la valutazione ex-ante degli impatti di azioni integrate Trasporti-Territorio in area urbana. Quest'attività di ricerca svolta nell'ambito del progetto Sustainable Urban Mobility (SUM), è stata portata avanti da due Unità di Ricerca UdR: l'UdR Tor Vergata, afferente al Dipartimento di Ingegneria dell'Impresa dell'Università degli Studi di Tor Vergata e l'UdR Federico II, afferente al Dipartimento di Pianificazione e Scienza del Territorio dell'Università degli Studi di Napoli Federico II.

Le attività svolte, di seguito descritte, per la messa a punto del sistema di modelli integrato di simulazione sono articolate in tre fasi:

Specificazione, scelta dei modelli da impiegare, per simulare gli effetti futuri derivanti dalle variazioni dell'offerta di trasporto, delle politiche territoriali e ambientali in area urbana. Definizione delle variabili e dei parametri necessari all'esecuzione delle simulazioni.

Calibrazione, raccolta ed inserimento in un database numerico di tutti i dati aggregati e disaggregati (socio-economici, urbanistici, ambientali e dell'offerta di trasporto) relativi all'area di studio e dei parametri necessari per la corretta esecuzione delle simulazioni.

Validazione, verifica dell'affidabilità dei risultati delle simulazioni dei modelli tramite l'applicazione ad un'area di studio.

2 Specificazione

Di seguito è riportata una sintesi delle modalità di funzionamento del sistema di modelli integrato di simulazione Trasporti-Uso del Territorio-Ambiente utilizzato, tratta dal documento Changing accessibility, dwelling price and the spatial distribution of socio-economic activities pubblicato nel 2011 sulla rivista Research in Transportation Economics 31 a cura del prof. Ing. Pierluigi Coppola e del prof. Ing. Agostino Nuzzolo.

Il modello di simulazione della domanda di trasporto e dell'interazione trasporto-territorio utilizzato in questo studio segue un approccio comportamentale d'equilibrio:

Comportamentale in quanto la domanda di mobilità e la distribuzione delle attività economiche e delle residenze sul territorio derivano dalla simulazione delle scelte e quindi del comportamento, delle famiglie, delle imprese private, degli imprenditori e degli altri soggetti che animano il sistema urbano;

D'equilibrio in quanto analizza quel particolare stato del sistema in cui le diverse componenti sono in equilibrio, e non considera le configurazioni attraverso le quali tale stato viene raggiunto.

Rispetto ai modelli d'interazione trasporti-territorio presenti in letteratura, tale modello presenta delle semplificazioni nella simulazione delle dinamiche del sistema urbano (non è ad esempio esplicitamente simulato il processo di formazione dei prezzi degli immobili, né sono considerate le dinamiche interne al mercato del lavoro) mentre approfondisce gli aspetti legati all'interazione tra sistema delle attività e sistema dei trasporti.

Nei seguenti paragrafi sono descritti singolarmente i differenti modelli che compongono il sistema di modelli integrato di simulazione Trasporti-Uso del Territorio-Ambiente (STIT).

2.1 Il modello di localizzazione delle residenze

Uno dei modelli di cui si compone STIT è il modello di localizzazione delle residenze, che definisce la distribuzione spaziale dei residenti negli scenari futuri per ciascuna zona di traffico. Il numero di residenti in ogni zona, $Res(o)$, può essere calcolato attraverso la probabilità di risiedere nella generica zona $P_{res}(o)$. La probabilità di risiedere in una data zona dipende da numerosi fattori.

Innanzitutto dal soggetto “decisore” che può essere il singolo individuo, il capofamiglia, la famiglia, il generico occupato, etc. Esistono inoltre fattori propri del decisore che possono avere un impatto rilevante sulla scelta e quindi sulla probabilità di risiedere in una zona, ad esempio il reddito, la condizione professionale, il numero di persone in famiglia, etc.

Nel modello s'ipotizza che i soggetti che scelgono la localizzazione della residenza siano gli occupati residenti nell'area di studio suddivisi in base alla condizione professionale in due classi socioeconomiche: occupati di condizione professionale alta (Dirigente, Quadro, libero professionista) e occupati di condizione professionale medio-bassa (Impiegato, artigiano, lavoratore autonomo, etc.). Inoltre viene indicato con l'apice i la generica classe di decisori (occupato di condizione prof. alta e occupato di condizione prof. bassa) e con $P_{res}^i(o)$ la probabilità che il generico appartenente alla classe i ha di risiedere nella generica zona o dell'area di studio.

La probabilità di risiedere in una zona può essere o meno correlata al luogo di lavoro. Infatti esistono (Wilson, 1970):

- utenti che scelgono la residenza in funzione del luogo di lavoro (scelta della residenza condizionata);
- utenti che scelgono la residenza indipendentemente dal luogo di lavoro (scelta della residenza non condizionata) ad esempio gli utenti che non lavorano o che non possono scegliere (ad esempio hanno già una casa e non possono o non vogliono venderla) oppure gli utenti che scelgono il luogo di lavoro in funzione della residenza.

Nel caso più generale in cui le residenze vengano scelte anche in funzione del luogo di lavoro, la probabilità che il generico occupato appartenente alla categoria i che lavora nella zona d , risieda nella zona o è data da:

$$P_{res}^i(o) = \sum_d P_{res-cond}^i(o|d) \cdot P_{lav}^i(d) \quad (1)$$

dove:

- $P_{res-cond}^i(o|d)$ è la probabilità che il generico residente della categoria i risieda in o condizionata al fatto di lavorare nella zona d ;
- $P_{lav}^i(d)$ è la probabilità assoluta di lavorare nella zona d per il generico residente della categoria i .

La probabilità condizionata $P_{res-cond}^i(o|d)$ di localizzazione della residenza in o , lavorando nella zona d ; si può calcolare utilizzando un modello di utilità aleatoria (Cascetta, 2001). Si assume cioè che il generico occupato i sia un decisore razionale che nello scegliere la propria zona di residenza consideri tutte le alternative a

REPORT 2.1 – AZIONI INTEGRATE TRASPORTI-TERRITORIO PER LA SOSTENIBILITÀ:

IL MODELLO MATEMATICO D'INTERAZIONE TRASPORTI-TERRITORIO

disposizione ed associ a ciascuna di queste un'utilità, $U^i(o|d)$ ovvero una misura della convenienza di localizzare la propria residenza in una data zona, e scelga l'alternativa (ovvero la zona) che massimizza tale utilità. L'utilità $U^i(o|d)$ è una variabile aleatoria scomponibile nella somma di due aliquote: l'utilità sistematica, $V^i(o|d)$ che rappresenta il valore medio dell'utilità percepita da tutti gli utenti della categoria i , ed un residuo aleatorio ε_o .

L'utilità sistematica $V^i(o|d)$ di localizzare la residenza nella zona o , lavorando nella zona d è funzione di attributi quali:

- la distanza (o più in generale il costo generalizzato dello spostamento) dal luogo di lavoro;
- l'accessibilità attiva della zona ai servizi pubblici (scuole, sanità, etc.) e privati (negozi, banche, etc.);
- la disponibilità e il prezzo delle case;
- ed altri attributi socioeconomici della zona, vale a dire variabili "proxy" che tengono conto delle caratteristiche del quartiere cui la zona appartiene, quali ad esempio la sicurezza, la presenza di verde, la vivibilità delle strade ed altro.

Nell'ipotesi che i residui aleatori siano distribuiti identicamente e indipendentemente secondo una variabile di Gumble di parametro α unitario e valore atteso nullo, la probabilità condizionata $P^i_{res-cond}(o|d)$ può essere calcolata con il modello Logit:

$$P^i_{res-cond}(o|d) = \frac{\exp[V^i(o|d)]}{\sum_{o'} \exp[V^i(o'|d)]} \quad (2)$$

Sulla base di un campione di interviste realizzato nell'area urbana di Roma è stato possibile specificare e calibrare una funzione di utilità sistematica per le due categorie socioeconomiche considerate. Questa è data dalla combinazione lineare di diversi attributi mediante coefficienti β relativi a:

- una variabile dummy che vale 1 se le zone o e d appartengono alla stessa macrozona *STATISTICA* e 0 altrimenti, $Intra(o,d)$;
- una variabile che misura il grado di affollamento delle abitazioni nella zona o calcolata come rapporto tra i residenti ed i mq di civili abitazioni della zona o , $x(o)$;
- il logaritmo del numero di abitazioni (espresso in migliaia) nella zona o , $Ln-ab(o)$;
- un indice di edilizia popolare presente nella zona calcolato mediante il rapporto tra il numero di abitazioni dell'IACP (Istituto Autonomo Case Popolari) ed il totale della abitazioni nella zona o , $IACP(o)$;
- una variabile dummy del prestigio della zona, $Pres(o)$;
- il prezzo medio a mq degli immobili nella zona o , $Pmq(o)$;
- la variabile soddisfazione relativa alla scelta modale, $Y^i_{Lav}(o,d)$;

La funzione del grado di affollamento delle abitazioni ha la seguente espressione:

$$x(o) = \left(\frac{Res(o)}{mq(o)} \right)^\alpha \quad (3)$$

in cui $Res(o)$ e $mq(o)$ sono rispettivamente i residenti ed i metri quadrati di civili abitazioni della zona o , e la costante α , calibrata esogenamente rispetto agli altri parametri del modello, è pari a 1.88.

La variabile di soddisfazione si definisce, invece, come il valore atteso della massima utilità percepita associata ad un determinato contesto di scelta per il decisore i . In questo caso la dimensione di scelta considerata è la scelta del modo di trasporto degli occupati i per recarsi a lavoro a partire dalla zona o nella zona d . La $Y^i_{Lav}(o,d)$ rappresenta quindi una misura del livello di servizio offerto dal sistema di trasporto sulla relazione origine-destinazione (o,d) . In un contesto di scelta modale, essa è una estensione del concetto di costo generalizzato dello spostamento tra due zone, ovviamente di segno opposto: maggiore è la soddisfazione maggiore è il livello di servizio offerto, minore è il costo generalizzato dello spostamento.

Il modello di scelta del luogo di lavoro fornisce la $P^i_{lav}(d)$ ovvero la probabilità assoluta di lavorare nella zona d per il generico residente della categoria i . Nel modello proposto si assume che laddove esista un'offerta di posti di lavoro questa sia completamente saturata, Pertanto la probabilità assoluta di lavorare nella generica zona d , per gli occupati della categoria i , è data da:

$$P^i_{lav}(d) = \frac{Add^i_{tot}(d)}{ADD^i_{tot}} \quad (4)$$

dove:

- $Add^i_{tot}(d)$ è il numero degli addetti, appartenenti alla categoria i , totali (somma su tutti i settori macro-economici) della zona d ;
- $ADD^i_{tot} = \sum_d Add^i_{tot}(d)$ il numero di addetti totali della stessa categoria i nell'intera area di studio.

Nota la probabilità che il generico occupato della categoria i scelga di risiedere nella zona o , $P^i_{res}(o)$, è possibile banalmente risalire alla distribuzione spaziale del numero degli occupati della categoria i in ogni zona o , $occ^i(o)$, una volta noto il numero totale di occupati dell'area di studio per ogni categoria i , OCC^i :

$$occ^i(o) = \left[\sum_d P^i_{res-cond}(o|d) \cdot \frac{Add^i_{tot}(d)}{ADD^i_{tot}} \right] \cdot OCC^i \quad (5)$$

e da questo attraverso il rapporto tra numero di residenti e numero di occupati della generica zona, $k(o)$, è possibile risalire al numero di residenti per zona:

$$Res(o) = k(o) \cdot \sum_i occ^i(o) \quad (6)$$

REPORT 2.1 – AZIONI INTEGRATE TRASPORTI-TERRITORIO PER LA SOSTENIBILITÀ:

IL MODELLO MATEMATICO D'INTERAZIONE TRASPORTI-TERRITORIO

Nell'ipotesi di sistema chiuso, in cui per ogni categoria i presente nell'area di studio, il numero totale di occupati è uguale al numero totale di addetti, $ADD^i = OCC^i$, risulta:

$$occ^i(o) = \sum_d P_{res-cond}^i(o | d) \cdot Add_{tot}^i(d) \quad (7)$$

e quindi il numero di residenti nella generica zona o è dato da:

$$Res(o) = k(o) \cdot \sum_i \sum_d P_{res-cond}^i(o | d) \cdot Add_{tot}^i(d) \quad (8)$$

2.2 Localizzazione urbana delle attività produttive

Per quanto riguarda la simulazione della la distribuzione urbana delle attività produttive in accordo con il principio dell'accessibilità, è legata alla convenienza che le imprese hanno nel localizzarsi in luoghi prossimi ai centri di input e output della produzione, ovvero quei luoghi che, a parità di altre condizioni consentono un aumento del profitto aziendale dovuto alla riduzione del costo di trasporto.

In generale i ricavi e i costi di produzione possono essere assunti come funzioni di fattori economici e localizzativi che combinati tra loro forniscono l'utilità che una data impresa ha di localizzarsi in una certa zona. Così come nel caso della localizzazione delle residenze, le imprese possono essere considerate dei decisori razionali "massimizzatori" di utilità.

Gli attributi di scelta che compaiono nella funzione di utilità aziendale sono relativi ai diversi aspetti della produzione e della vendita. In questa sede ci interessa prendere in considerazione quelli che sono maggiormente legati al fattore localizzativo.

Attributi che impattano sui ricavi aziendali legati alla posizione dell'impresa sono ad esempio:

- la distanza o l'accessibilità passiva ai consumatori del bene o del servizio fornito;
- la localizzazione della sede in zone a forte concentrazione di domanda;
- la localizzazione in zone di prestigio;

Attributi legati invece ai costi di produzione aziendale sono ad esempio:

- la distanza o in generale l'accessibilità attiva ai mercati o ai luoghi di output;
- la distanza o l'accessibilità passiva ai luoghi di acquisizioni di beni e servizi necessari alla produzione;
- il prezzo degli immobili;
- la dimensione degli immobili (che ha impatto sui costi di gestione);

Alcuni di questi attributi possono essere calcolati con maggiore esattezza dall'imprenditore che deve eseguire una scelta di tipo localizzativo, come ad esempio il costo dell'immobile, o il canone di locazione, la distanza dai mercati o da un punto di spedizione e quindi il relativo costo di trasporto, e così via. Altri attributi, di più incerta determinazione, sono legati alle previsioni e alle attese dell'imprenditore e quindi presentano un grado di aleatorietà.

Considerando, inoltre, che il livello di percezione di uno stesso attributo per quanto oggettivamente definito, può variare da impresa a impresa o da imprenditore a imprenditore, risulta che esiste un aleatorietà intrinseca nelle scelte di ciascuno soggetto ed è lecito assumere, dunque, che l'utilità sia una variabile aleatoria.

La generalizzazione introdotta consente di tenere conto del fatto che imprese e attività appartenenti a settori economici diversi, possono avere differenti meccanismi comportamentali di scelta della localizzazione ottima. Fermo restando il principio della massimizzazione della propria utilità (o del profitto) ciò che distinguerà le diverse aziende saranno gli attributi che compariranno nella funzione di utilità e i relativi parametri.

REPORT 2.1 – AZIONI INTEGRATE TRASPORTI-TERRITORIO PER LA SOSTENIBILITÀ:

IL MODELLO MATEMATICO D'INTERAZIONE TRASPORTI-TERRITORIO

Come nella scelta di localizzazione delle residenze i decisori sono raggruppati in classi, così anche nella localizzazione delle attività si può procedere ad aggregazioni in macro settori economici in funzione dei meccanismi che sottostanno alle scelte localizzative.

Procedendo quindi ad una disamina delle diverse attività produttive urbane ed ad una loro classificazione in funzione dei fattori localizzativi determinanti, è possibile distinguere innanzitutto il settore delle attività vincolate costituito da quelle attività la cui localizzazione non è indotta da variazioni della configurazione dell'offerta di trasporto ma dipende dagli indirizzi di pianificazione territoriale stabiliti dall'Amministrazione Pubblica o da fattori localizzativi macro-aziendali. Esempi di settori di base sono:

- le grandi industrie;
- la Pubblica Amministrazione;
- la Difesa;
- la Sanità;
- l'Istruzione;
- ed altri servizi pubblici e sociali.

Per quanto riguarda le altre attività, possiamo distinguere invece in:

- **attività orientate alla densità di domanda**, vale a dire quelle attività la cui localizzazione segue prevalentemente la distribuzione della potenziale clientela;
- **attività orientate al controllo o ai simboli di potere**, ovvero quelle attività che richiedono tipicamente localizzazioni di prestigio e facilità di comunicazione (sedi centrali di banche, istituti assicurativi, attività direzionali, negozi di alta moda,...);
- **attività che usano altre strutture urbane**, che sono quelle attività che richiedono forte accessibilità ad alcuni servizi urbani quali ad esempio tribunali, ospedali, università, poli infrastrutturali strategici, porti, aeroporti, stazioni, etc.;
- **attività a bassa efficienza spaziale**, vale a dire attività che richiedono grandi spazi ad esempio attività di stoccaggio e magazzinaggio, commercio all'ingrosso, attività manifatturiere, etc.

Ciascuna classe di attività avrà un set di attributi o fattori maggiormente significativi in relazione alle scelte localizzative.

Un esempio di attività orientata alla densità di domanda è il commercio al dettaglio. La localizzazione di attività commerciali che vendono beni per i consumatori che effettuano comparazioni (ad esempio prodotti alimentari, beni di consumo, etc.) sicuramente sarà determinata dalla distribuzione dei residenti (ovvero i potenziali clienti) sul territorio; la localizzazione di negozi che forniscono servizi alle imprese sarà orientata verso zone dove è maggiore la presenza di tali imprese o soggetti che utilizzano quei servizi (un esempio è dato dal fatto che tipicamente intorno ad un'università o ai licei si localizzano le librerie o i centri fotocopie e le rilegatorie). Esistono, quindi, alcune attività orientate alla densità di domanda che non si localizzano in funzione dell'accessibilità ma piuttosto in funzione delle distribuzioni di altri soggetti economici (residenti, aziende, studenti, etc.). Ne è riprova il fatto che spesso la localizzazione di tali attività avviene in luoghi che sono tutt'altro che accessibili (centri urbani fortemente congestionate o zone pedonali).

REPORT 2.1 – AZIONI INTEGRATE TRASPORTI-TERRITORIO PER LA SOSTENIBILITÀ:

IL MODELLO MATEMATICO D'INTERAZIONE TRASPORTI-TERRITORIO

Un discorso analogo può farsi per le attività che usano altre strutture urbane anche se in questo caso quello che gioca è l'accessibilità a tali strutture: accessibilità attiva nel caso ad esempio di un avvocato o di un perito legale rispetto al Tribunale, o di un notaio rispetto alle banche, o di un'azienda nel settore della trasformazione che privilegerà zone ad alta accessibilità passiva rispetto ai fornitori.

Un fattore decisivo per le attività orientate ai simboli di potere (banche, assicurazioni, attività direzionali) è il prestigio della zona in cui ci si localizza e la visibilità al pubblico. In realtà il discorso va analizzato in maniera separata, da una parte, per le sedi centrali che hanno tipicamente una funzione di rappresentanza e che, pertanto, avvantaggeranno fattori legati al prestigio della zona e alla visibilità, e d'altra parte, per le sedi operative che forniscono servizi ai clienti, per le quali un fattore localizzativo determinante sarà l'accessibilità passiva rispetto alle famiglie e alle imprese.

Un discorso a parte va fatto per le attività a bassa efficienza spaziale ovvero quelle attività (magazzinaggio, commercio all'ingrosso, concessionarie auto, etc.) che richiedono ampi spazi. Per tali attività si può pensare ad un meccanismo di scelta in cui il fattore determinante sia il *trade-off* tra la dimensione degli immobili e il prezzo, piuttosto che l'accessibilità passiva ai clienti (si pensi ad esempio ai grandi centri commerciali spesso ubicati in aree periferiche a bassa rendita).

I modelli di localizzazione delle attività economiche a spazio discreto, forniscono la distribuzione delle attività nell'area di studio, misurata attraverso il numero di addetti per ogni settore economico a nelle singole zone d dell'area di studio $Add^a(d)$.

Così come per la localizzazione delle residenze è possibile introdurre la probabilità di localizzare una certa attività a (ad esempio un'attività commerciale o uno studio professionale,...) in una generica zona d , $p^a(d)$, da cui, noto il numero totale di addetti nel generico settore d'attività a , Add_{tot}^a , si ottiene il numero di addetti per zona mediante la relazione:

$$Add^a(d) = p^a(d) \cdot Add_{tot}^a \quad (9)$$

Si suppone che un soggetto privato (un imprenditore, un'azienda,...) che debba scegliere di localizzare la propria attività economica "a" (un negozio, uno studio professionale,...) nella generica zona d , sia un decisore razionale, il cui obiettivo è quello di massimizzare una funzione d'utilità.

Se si assume che la funzione d'utilità associata a ciascuna alternativa di scelta (vale a dire la zona in cui localizzare l'attività) è una variabile aleatoria identicamente ed indipendentemente distribuita secondo una variabile di *Gumble*, la probabilità di localizzare l'attività a nella zona d è calcolata con il modello Logit:

$$p^a(d) = \frac{\exp(V_d^a)}{\sum_{d'} \exp(V_{d'}^a)} \quad (10)$$

REPORT 2.1 – AZIONI INTEGRATE TRASPORTI-TERRITORIO PER LA SOSTENIBILITÀ:

IL MODELLO MATEMATICO D'INTERAZIONE TRASPORTI-TERRITORIO

dove V_d^a è l'utilità sistematica (ovvero il valore atteso dell'utilità) relativa alla localizzazione dell'attività di tipo a nella zona d . Tale utilità sistematica di localizzare un'attività nella zona d è combinazione lineare di attributi che tengono conto:

- delle prestazioni del sistema dei trasporti ovvero dell'accessibilità (passiva e attiva) della zona;
- di attributi d'attrattività di zona, quali il numero di residenti e il numero di addetti di base presenti della zona stessa;
- da variabili ombra che tengono conto in maniera approssimata delle caratteristiche del quartiere a cui la zona appartiene, quali ad esempio la dummy *Centro*, che vale 1 se la zona è una zona centrale, 0 altrimenti.

2.3 Il modello del sistema dei trasporti

Il sistema dei trasporti è modellizzato mediante i tradizionali modelli ad aliquote parziali che, per una data configurazione del sistema delle attività urbane (distribuzione dei residenti e degli addetti nelle zone dell'area di studio) forniscono le stime delle matrici OD modali per diversi motivi dello spostamento. Queste, mediante i modelli di offerta e di interazione domanda-offerta, consentono la stima dei flussi sugli elementi del sistema di offerta e, quindi, il calcolo delle prestazioni sulle reti di trasporto (tempi e costi medi sulle relazioni origine-destinazione, OD).

Quindi il sistema di modelli per la simulazione della domanda di mobilità permette di stimare, mediante una struttura *ad aliquote parziali*, le matrici origine-destinazione (nell'ora di punta "h" del giorno medio feriale) relative agli utenti " $d_{od}^c(s,h,m)$ ", della categoria socioeconomica "c", che, partendo dalla zona di residenza "o", si recano nella zona "d", per il motivo "s" utilizzando il modo "m";

$$d_{od}^c(s,h,m) = n^c(o) \cdot m^c(s) \cdot p^c(h/s) \cdot p(d/osh) \cdot p(m/oshd) \quad (11)$$

dove:

- $n^c(o)$ è il numero d'utenti della categoria socioeconomica "c" (ad esempio gli occupati, gli studenti,...) residenti nella zona "o";
- $m^c(s)$ è il numero medio giornaliero di spostamenti (indice di mobilità) di sola andata, per il motivo "s", compiuti da un utente della categoria "c";
- $p^c(h/s)$ è la probabilità che un utente della categoria "c", che si sposta per il motivo "s", compia almeno uno spostamento nell'ora di punta h;
- $p(d/osh)$ è la probabilità che un utente, residente nella zona "o" si sposti nell'ora di punta h verso la destinazione "d" per il motivo "s";
- $p(m/oshd)$ è la probabilità che un utente, che si sposta dalla zona "o" verso la destinazione "d", per il motivo "s" nell'ora di punta h, utilizzi il modo "m";

I motivi dello spostamento considerati nel **modello urbano** sono:

- Lavoro (Lav);
- Studio scuola superiore (Scuola);
- Studio università (Uni);
- Altri motivi: cure personali, acquisti, ... (Altro).

La popolazione, coerentemente con la classificazione Istat, è stata suddivisa in 5 categorie socio-economiche d'utenti "c" individuate in base al tipo di attività svolta:

- Occupato di condizione professionale alta (Occ Alto): liberi prof., dirigenti, imprenditori,...;
- Occupato di condizione professionale bassa (Occ basso): artigiano, dipendente, impiegato,...

REPORT 2.1 – AZIONI INTEGRATE TRASPORTI-TERRITORIO PER LA SOSTENIBILITÀ:

IL MODELLO MATEMATICO D'INTERAZIONE TRASPORTI-TERRITORIO

- studente di scuola media superiore e d'istituti professionali (Studsup);
- studente universitario (Studuni);
- altro d'età maggiore di 14 anni (Altro): casalinghe, pensionati, disoccupati,

Combinando il motivo dello spostamento e le categorie socioeconomiche sono stati individuati i seguenti segmenti di domanda:

- occupato alto per Lavoro e Altri motivi;
- occupato basso per Lavoro e Altri motivi;
- studente di scuola superiore e d'istituti professionali per Studio scuola superiore e Altri motivi;
- studente universitario per Studio università e Altri motivi;
- altri residenti di età maggiore di 14 anni per Altri motivi.

Per ogni segmento di domanda si è stimato un indice di mobilità e una probabilità di spostamento nell'ora punta (modello di *generazione*); le probabilità di scelta della destinazione e del modo di trasporto sono state stimate mediante modelli di utilità aleatoria, calibrati in maniera disaggregata per ciascun motivo dello spostamento considerato.

2.4 Il sistema di modelli di interazione trasporti-territorio

I modelli di localizzazione delle residenze e della attività economiche, descritti in precedenza, sono inseriti in un sistema di modelli più generale per la simulazione delle interazioni trasporti-territorio e quindi per la previsione della domanda nel lungo periodo. La rappresentazione schematica del sistema di modelli proposto è riportata in figura 1, dove sono evidenziate le interazioni tra i diversi sottosistemi e le rispettive variabili d'ingresso e d'uscita. Si osserva che il sistema di modelli è composto da un modello del sistema dei trasporti; un modello di localizzazione delle residenze; un modello di localizzazione delle attività economiche che interagiscono tra loro.

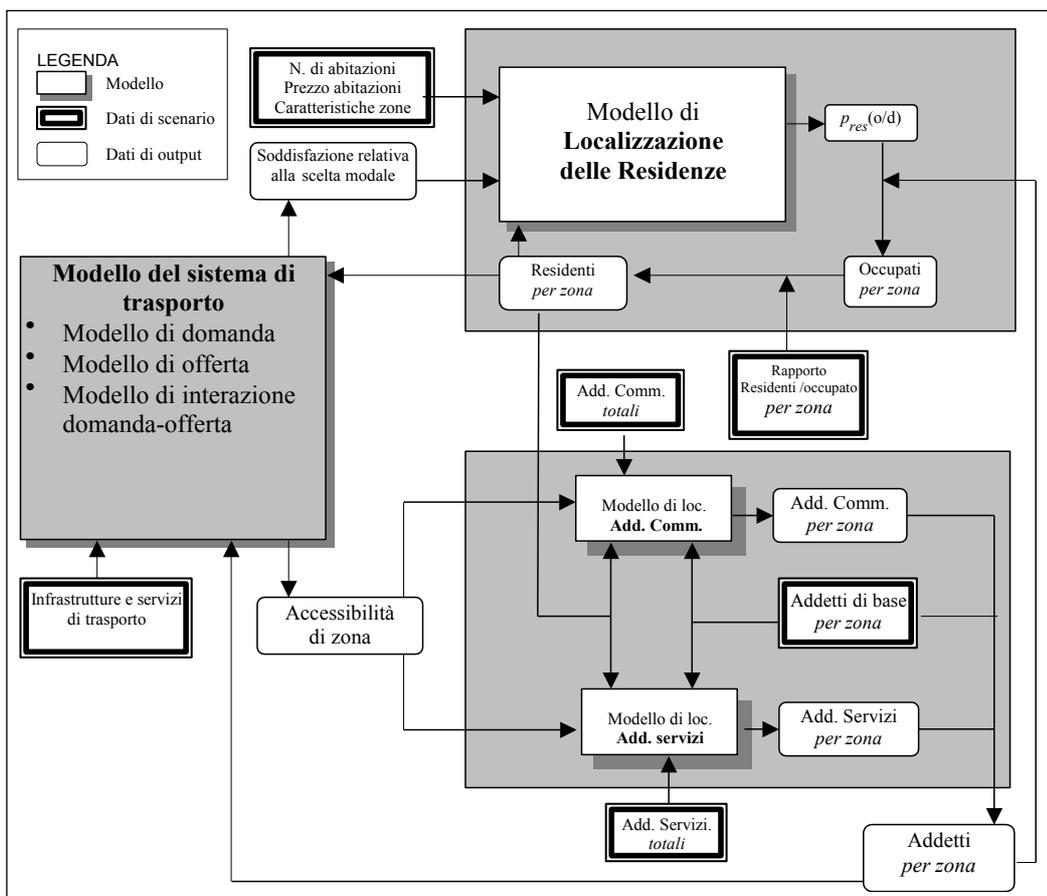


Figura 1: Rappresentazione schematica del sistema di modelli proposto.

Si noti, tuttavia, che le variazioni delle prestazioni dell'offerta di trasporto, in particolare del costo generalizzato dello spostamento e di accessibilità costituiscono un input per i modelli di localizzazione delle residenze e delle attività economiche, e che, quest'ultimi, stimando la distribuzione dei residenti e degli addetti sul territorio forniscono a loro volta un input per i modelli di domanda di trasporto. Esiste, quindi, una dipendenza circolare tra prestazioni della rete, distribuzione delle attività e domanda di mobilità che si traduce in un primo problema di equilibrio tra sistema dei trasporti e sistema delle attività urbane. La

REPORT 2.1 – AZIONI INTEGRATE TRASPORTI-TERRITORIO PER LA SOSTENIBILITÀ:

IL MODELLO MATEMATICO D'INTERAZIONE TRASPORTI-TERRITORIO

risoluzione di tale problema è legata alla risoluzione di altri due problemi di equilibrio che interessano il sistema delle attività urbane.

Dalla figura 1.1 si osserva, infatti, che il modello di localizzazione delle attività economiche richiede, come dato di scenario, il numero complessivo di addetti in ogni settore e, per le *attività vincolate*, richiede anche la localizzazione nelle zone dell'area di studio. Inoltre, poiché la presenza di residenze in una data zona può influenzare, più o meno a seconda del tipo di attività, la convenienza localizzativa di un'attività economica in quella zona, in generale la distribuzione delle attività economiche nell'area di studio dipenderà dalla distribuzione dei residenti nell'area di studio.

D'altra parte, il numero di residenti in una certa zona, oltre che da variabili di scenario quali la disponibilità e quindi il numero di abitazioni in zona, il prezzo degli immobili, alcune caratteristiche di vivibilità e pregio della zona (quali ad esempio la presenza di parchi pubblici, luoghi ricreativi, etc.) dipenderà anche dalla distanza dai luoghi di lavoro, dall'accessibilità attiva ai servizi e al commercio e quindi, in generale, dalla distribuzione delle attività economiche sul territorio.

Pertanto detto \mathbf{A}^i il vettore di dimensione $[n_zone \times 1]$ degli addetti di zona della categoria i , e detto \mathbf{R}^i il vettore di dimensione $[n_zone \times 1]$ dei residenza di zona della categoria i , risulta:

$$\begin{cases} \mathbf{R}^i = R \left[\sum_i \mathbf{A}^i \right] \quad \forall i \\ \mathbf{A}^i = A \left[\sum_i \mathbf{R}^i \right] \quad \forall i \end{cases} \quad (12)$$

Esiste dunque un problema di equilibrio nella locazione di attività e residenze la cui soluzione è data dai vettori \mathbf{R}^{i*} \mathbf{A}^{i*} tali che:

$$\begin{cases} \mathbf{R}^{i*} = R \left[\sum_i \mathbf{A}^{i*} \right] \quad \forall i \\ \mathbf{A}^{i*} = A \left[\sum_i \mathbf{R}^{i*} \right] \quad \forall i \end{cases} \quad (13)$$

L'esistenza dei vettori \mathbf{R}^{i*} e \mathbf{A}^{i*} è garantita dal rispetto delle usuali condizioni del teorema di Brouwers (Caschetta, 2001), ovvero dalla continuità in domini chiusi e limitati delle funzioni $R[.]$ ed $A[.]$.

Esiste infine un problema di equilibrio interno al sottosistema delle residenze che si verifica nel caso in esame in quanto la probabilità di risiedere in una zona condizionata al luogo di lavoro, $P_{res-cond}^i(o|d)$, dipende dal grado di saturazione, $x(o)$, delle abitazioni nella zona o ; il grado di saturazione dipende a sua volta dal numero di residenti della zona. Pertanto, detto \mathbf{x} $[n_zone \times 1]$ il vettore dei gradi di saturazione nelle zone dell'area di studio, \mathbf{k}^i il vettore $[n_zone \times 1]$ dei rapporti tra occupati e residenti di zona della categoria i , \mathbf{P}^i la matrice $[n_zone \times n_zone]$ delle probabilità di residenza condizionate relative alla categoria i , risulta:

REPORT 2.1 – AZIONI INTEGRATE TRASPORTI-TERRITORIO PER LA SOSTENIBILITÀ:

IL MODELLO MATEMATICO D'INTERAZIONE TRASPORTI-TERRITORIO

$$\begin{cases} \mathbf{R}^i = \mathbf{k}^i \cdot \mathbf{P}^i(\mathbf{x}) \cdot \mathbf{A}^i & \forall i \\ \mathbf{x} = x(\sum_i \mathbf{R}^i) \end{cases} \quad (14)$$

Esiste, dunque, una dipendenza circolare tra residenti e grado di saturazione delle abitazioni, che si traduce in un problema di equilibrio la cui soluzione è rappresentata dai vettori \mathbf{R}^{i*} e \mathbf{x}^* tali che:

$$\begin{cases} \mathbf{R}^{i*} = \mathbf{k}^{i*} \cdot \mathbf{P}^{i*}(\mathbf{x}^*) \cdot \mathbf{A}^{i*} & \forall i \\ \mathbf{x}^* = x(\sum_i \mathbf{R}^{i*}) \end{cases} \quad (16)$$

L'esistenza della soluzione d'equilibrio anche in questo caso è garantita dal fatto che l'insieme delle possibili soluzioni \mathbf{R}^i e la funzione del grado di saturazione rispettano le condizioni del teorema di Brouwers. In tal caso è possibile dimostrare anche l'unicità della soluzione d'equilibrio che deriva dal fatto che la funzione $x(\mathbf{R})$, è strettamente monotona, e che il modello di scelta della residenza è un modello di tipo Logit e quindi additivo (Cascetta, 2001).

3 I parametri del modello

I dati utilizzati per eseguire le simulazioni con il sistema di modelli STIT sono raccolti all'interno di un database numerico, costituito da diciassette tabelle, divise in tre macro gruppi. Il primo macro gruppo contiene le tabelle riguardanti i parametri socio-economici e infrastrutturali-prestazionali (struttura insediativa e offerta del sistema di trasporto) in input al modello per lo scenario di riferimento e quello di sviluppo futuro, il secondo macro gruppo contiene le tabelle riguardanti i parametri β necessarie per la corretta simulazione del modello e il terzo gruppo contiene le tabelle in cui a termine della simulazione vengono inseriti i risultati numerici.

Quindi nel primo macro gruppo di tabelle sono riportati i dati socio-economici e infrastrutturali inseriti per lo scenario di riferimento, che derivano dai dati dei censimenti ISTAT 2001 Popolazione e Abitazione e Industria e Servizi e dai dati raccolti tramite un'indagine telefonica a domicilio realizzata dall'ATESIA nel 2004, che ha raccolto 42.000 interviste telefoniche (per un totale di oltre 80.000 spostamenti rilevati).

Lo scenario scelto come riferimento è quello al 2011, che è stato utilizzato anche per la calibrazione del modello. Quindi per poter aggiornare i dati disponibili al 2011, sono stati utilizzati anche i dati forniti dal Comune di Roma tramite l'ufficio statistico e l'agenzia della mobilità.

In fine i dati raccolti, per lo scenario di riferimento, sono stati inseriti all'interno di tre differenti tabelle (01_Zone_rif; 02_Dati_rif; 03_Attributi) di seguito riportate e brevemente descritte.

Nella tabella 01_Zone_rif sono riportate le variabili socio-economiche utilizzate per la definizione dello scenario di riferimento (2011) per ognuna delle 463 zone di traffico in cui è suddivisa l'area di studio.

Nome	Descrizione
ID_Zona	Codice progressivo (1-463)
Zona	Codifica M2
PGTU	Codifica PGTU (1-5)
Stat	Codifica Statistica (1-54)
OccA	N. occupati fascia alta
OccB	N. occupati fascia bassa
StudSup	N. studenti scuola superiore
StudUni	N. studenti universitari
Altro	N. altra condizione
AddCom	N. addetti commercio
AddSc	N. addetti scuola superiore
AddUni	N. addetti università
AddTot	N. addetti totali (Com+SerPri+BaSerPub)
AddBaSerPub	N. addetti di base
AddSerPri	N. addetti servizi privati

Tabella 1: Struttura della tabella 01_Zone_rif.

Nella tabella 02_Dati_rif sono riportate le variabili riguardanti i tempi di sosta per singolo motivo e alla struttura insediativa utilizzate per la definizione dello scenario di riferimento (2011) per ognuna delle 463 zone di traffico in cui è suddivisa l'area di studio.

REPORT 2.1 – AZIONI INTEGRATE TRASPORTI-TERRITORIO PER LA SOSTENIBILITÀ:

IL MODELLO MATEMATICO D'INTERAZIONE TRASPORTI-TERRITORIO

Nome	Descrizione
ID_Zona	Codice progressivo (1-463)
Zona	Codifica M2
P_Sosta	Probabilità di sosta tariffata nella zona
Tsosta_LPF	Tempo medio sosta per motivo LPF
Tsosta_ScSup	Tempo medio sosta per motivo ScSup
Tsosta_ScUni	Tempo medio sosta per motivo ScUni
Tsosta_Altri	Tempo medio sosta per motivo Altri
Sosta_Auto	Tariffa sosta auto
Sosta_Moto	Tariffa sosta moto
PR_ferro	Indice accessibilità al trasporto pubblico su ferro
NMAuto	Num. Medio auto per famiglia
Mq	
Abitazioni	N. abitazioni
IACP	Indice di edilizia popolare
Prestigio	Indice di prestigio
Prezzo	Prezzo medio degli immobili

Tabella 2: Struttura della tabella 02_Dati_rif.

Nella tabella 03_Attributi_rif sono riportate le variabili riguardanti le prestazioni delle infrastrutture di trasporto utilizzate per la definizione dello scenario di riferimento (2011) per ognuna delle 463 zone di traffico in cui è suddivisa l'area di studio.

Nome	Descrizione
Ori	Origine spostamento
Des	Destinazione spostamento
T_auto	Tempo su rete auto
D_auto	Distanza su rete auto
T_bordo	Tempo PT su rete
T_attesa	Tempo attesa alla fermata
T_AccEgr	Tempo di accesso/egresso
T_trasbo	Tempo di trasbordo
N_trasbo	Numero di trasbordi
T_moto	Tempo moto su rete
D_piedi	Distanza su rete pedonale

Tabella 3: Struttura della tabella 03_Attributi_rif.

Inoltre per la simulazione di uno scenario di sviluppo futuro, vi è la necessità di caricare all'interno delle tabelle 11_Dati, 12_Attributi, 14_Zone (la cui struttura è analoga a quella delle tabelle dello scenario di riferimento) i dati riguardanti le ipotesi di sviluppo futuro (insediativo e dell'offerta di trasporto).

In seguito alla simulazione, il software inserisce i dati in output che ci restituisce il modello nelle tabelle 14_Localizzazione e in quell'OD, di seguito riportate e brevemente descritte.

REPORT 2.1 – AZIONI INTEGRATE TRASPORTI-TERRITORIO PER LA SOSTENIBILITÀ:

IL MODELLO MATEMATICO D'INTERAZIONE TRASPORTI-TERRITORIO

Nella seguente tabella *14_Localizzazione* sono riportati i risultati in output del modello riguardante la redistribuzione dei parametri socio-economici effettuata dal modello tramite la simulazione integrata trasporti-territorio.

Nome	Descrizione
ID_Zona	Codice progressivo (1-463)
Zona	Codifica M2
PGTU	Codifica PGTU (1-5)
Stat	Codifica Statistica (1-54)
OccA	N. occupati fascia alta
OccB	N. occupati fascia bassa
StudSup	N. studenti scuola superiore
StudUni	N. studenti universitari
Altro	N. altra condizione
AddSerPri	N. addetti servizi privati
AddCom	N. addetti commercio
AddTot	N. addetti totali (Com+SerPri+BaSerPub)

Tabella 4: Struttura della tabella *14_Localizzazione*.

Nella seguente tabella *OD* è riportata la matrice origine-destinazione degli spostamenti in output dal modello in seguito della simulazione dello scenario di sviluppo futuro.

Nome	Descrizione
ID_Ori	ID origine spostamento
ID_Des	ID destinazione spostamento
Ori	Origine spostamento
Des	Destinazione spostamento
LPF_Auto	Spostamenti per LPF che usano l'auto
LPF_Moto	Spostamenti per LPF che usano la moto
LPF_PT	Spostamenti per LPF che usano il mezzo pubblico
LPF_Piedi	Spostamenti per LPF che vanno a piedi
LPF	Spostamenti per LPF
ScSup_Auto	Spostamenti per ScSup che usano l'auto
ScSup_Moto	Spostamenti per ScSup che usano la moto
ScSup_PT	Spostamenti per ScSup che usano il mezzo pubblico
ScSup_Piedi	Spostamenti per ScSup che vanno a piedi
ScSup	Spostamenti per ScSup
ScUni_Auto	Spostamenti per ScUni che usano l'auto
ScUni_Moto	Spostamenti per ScUni che usano la moto
ScUni_PT	Spostamenti per ScUni che usano il mezzo pubblico
ScUni_Piedi	Spostamenti per ScUni che vanno a piedi
ScUni	Spostamenti per ScUni
Altri_Auto	Spostamenti per Altri che usano l'auto
Altri_Moto	Spostamenti per Altri che usano la moto
Altri_PT	Spostamenti per Altri che usano il mezzo pubblico
Altri_Piedi	Spostamenti per Altri che vanno a piedi
Altri	Spostamenti per Altri

Tabella 5: Struttura della tabella *OD*.

REPORT 2.1 – AZIONI INTEGRATE TRASPORTI-TERRITORIO PER LA SOSTENIBILITÀ:

IL MODELLO MATEMATICO D'INTERAZIONE TRASPORTI-TERRITORIO

3.1 Calibrazione

I modelli di utilità aleatoria (Cascezza, 2006) possono essere considerati come delle relazioni matematiche che forniscono la probabilità $p^i[j](X^i, \beta)$ che l'individuo i scelga l'alternativa j in funzione del vettore X^i degli attributi di tutte le alternative disponibili, del vettore β di parametri dell'utilità sistematica. La dipendenza delle probabilità di scelta da X e β avviene attraverso le funzioni di utilità sistematica, che di solito si assumono come combinazioni lineari degli attributi X (o loro trasformazioni funzionali) con coefficienti dati dai parametri β :

$$V_j(X_j^i) = \sum_z \beta_z X_{zj}^i = \beta^T X_j^i$$

Calibrare il modello significa ottenere delle stime dei vettori di coefficienti β sulla base delle scelte effettuate da un campione di utenti. Il metodo di calibrazione dei parametri β utilizzato in questo studio è basato sul confronto tra le stime del modello e dati aggregati ottenuti tramite indagine statistica campionaria.

Dal punto di vista operativo per determinare i parametri β è stata messa a punto una particolare versione del software STIT, in grado di simulare il solo scenario di riferimento. Questo ha consentito di effettuare il confronto tra i dati relativi ai tassi attuali di mobilità raccolti tramite indagine statistica e quelli simulati dal software, così da poter giungere alla calibrazione dei parametri β .

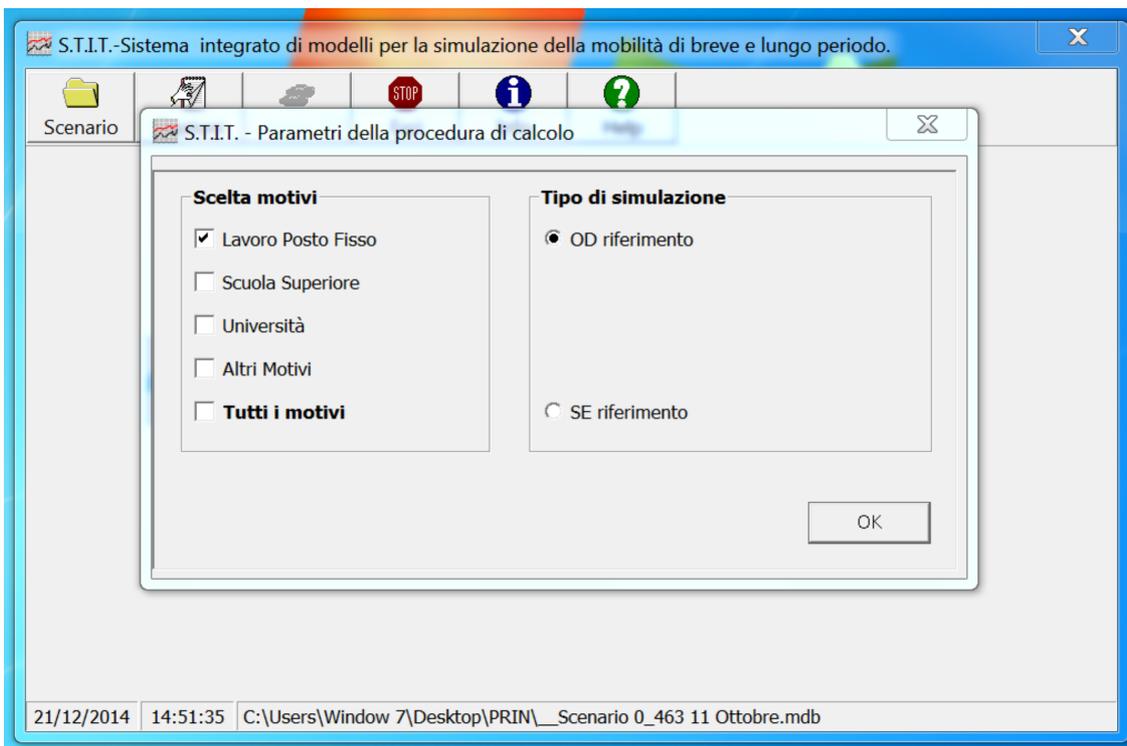


Figura 2: Schermata della versione del software STIT utilizzata per la calibrazione dei modelli di generazione, distribuzione e scelta modale.

REPORT 2.1 – AZIONI INTEGRATE TRASPORTI-TERRITORIO PER LA SOSTENIBILITÀ:

IL MODELLO MATEMATICO D'INTERAZIONE TRASPORTI-TERRITORIO

Calibrazione del modello di generazione del sistema di trasporto

Di seguito sono riportati i tassi di emissione per motivo e categoria ottenuti dalla calibrazione aggregata ed utilizzati nel modello di generazione, al fine di calcolare per ciascun segmento di domanda il numero di spostamenti emessi da ogni zona di traffico verso tutte le altre zone.

	Lavoro	Scuola	Università	Altro
Occupato Alto	0,237	0,000	0,000	0,020
Occupato Basso	0,293	0,000	0,000	0,033
Studente Scuola	0,000	0,350	0,000	0,014
Studente Uni	0,000	0,000	0,220	0,036
Altro	0,000	0,000	0,000	0,149

Tabella 6: Tassi di emissione per motivo e categoria.

Calibrazione del modello di distribuzione del sistema di trasporto

Di seguito sono riportati i parametri del modello di distribuzione ottenuti a seguito della calibrazione aggregata ed utilizzati per calcolare gli spostamenti uscenti dalla zona “o” che si recano alla zona “d” per il motivo “s”. I coefficienti ottenuti dalla calibrazione presentano segni congruenti e coerenti con quanto atteso.

	Lavoro	Scuola	Università	Altro
PGTU 1	1,2	5	3,56	2,6
PGTU 2	1	4,5	4,147	2,55
PGTU 3	1,06	4,2	4,43	2,95
PGTU 4	0,9	3,5	-0,744	2,35
PGTU 5	0,7	3,5	3,2655	2,25
Y, LOGSUM	0,35299	0,421	0,184	0,65
LSM (altri+commercio +...)	1,09	1,145	0,577	0,998
Add_serv_priv	0,643	0	0	0,03999
Add_servPubb	0,51999	0	0	0,03999
Add_uni+scuola	0,536	0	0	0,483
intrazona	0,2	0,1	0,1	0,2
N_Facoltà	0	0	79,202	0

Tabella 7: Parametri del modello di distribuzione.

REPORT 2.1 – AZIONI INTEGRATE TRASPORTI-TERRITORIO PER LA SOSTENIBILITÀ:

IL MODELLO MATEMATICO D'INTERAZIONE TRASPORTI-TERRITORIO

Calibrazione del modello di scelta modale del sistema di trasporto

Di seguito sono riportati i parametri del modello di scelta modale ottenuti a seguito della calibrazione aggregata ed utilizzati per calcolare la probabilità che un utente, che si sposta dalla zona “o” verso la destinazione “d”, per il motivo “s”, utilizzi il modo “m”.

	Lavoro	Scuola	Università	Altro
Costo (generico)	-0,150	-0,350	-0,300	-0,150
Costante Modale TP	0,000	-0,300	-1,300	-2,350
vuoto	0,000	0,000	0,000	0,000
Tempo di accesso/egresso TP	-3,909	-2,000	-3,000	-2,399
Tempo di attesa TP	-5,066	-2,000	-4,000	-3,699
Tempo a bordo TP	-5,100	-2,260	-4,222	-3,700
Tempo trasbordo TP	-5,755	-2,000	-5,288	-1,567
PR_ferro TP	0,300	0,000	0,000	0,380
Numero trasbordi TP	-1,118	-1,255	-1,000	-1,130
Capacità TP	0,000	0,000	0,000	0,000
vuoto	0,000	0,000	0,000	0,000
vuoto	0,000	0,000	0,000	0,000
Costante Modale AUTO	-3,700	-3,000	-5,600	-2,700
vuoto	0,000	0,000	0,000	0,000
Tempo auto	-2,000	-2,434	-3,300	-3,990
Numero auto/Numero patenti	2,218	1,091	2,515	-1,562
Costante Modale MOTO	-3,600	-2,600	-5,600	-8,450
vuoto	-1,500	0,000	0,000	0,000
Tempo moto	-6,890	-5,330	-3,950	-3,700
Numero moto/Numero patenti	4,259	-2,142	3,928	3,520
Centro (in MOTO)	0,909	0,000	0,000	0,000
Tempo piedi	-14,000	0,000	-1,514	-0,300

Tabella 8: Parametri del modello di scelta modale.

IL MODELLO MATEMATICO D'INTERAZIONE TRASPORTI-TERRITORIO

3.2 Calibrazione del modello di localizzazione delle residenze

Di seguito sono riportati i parametri β del modello di localizzazione delle residenze per le due classi di residenti individuate in base alla condizione professionale che sono: occupati di condizione professionale alta (Dirigente, Quadro, libero professionista) e occupati di condizione professionale medio-bassa (Impiegato, artigiano, lavoratore autonomo, etc).

I parametri β ottenuti dalla fase di calibrazione aggregata ed utilizzati nel modello di localizzazione al fine di calcolare la probabilità che un occupato risieda in una determinata zona di traffico, sono congruenti con le ipotesi comportamentali alla base del modello.

	Occupati alti	Occupati bassi
Logsum altri motivi	0,9	1,1
f(pop/mq)	-5,363	-4,847
IACP	-0,6387	-0,6514
Prestigio	0,1965	0
Prezzo	0	-0,377
Abitazioni	0,0002439	0,0004135
intra Stat	0	0,9
dist <=1.5	0,1	0,02
dist<=6.0	0,1	0,04

Tabella 9: Parametri del modello di localizzazione delle residenze.

3.3 Calibrazione del modello di localizzazione delle attività economiche

Di seguito sono riportati i parametri del modello di localizzazione delle attività economiche ottenute dalla fase di calibrazione aggregata e utilizzata nel modello di localizzazione al fine di calcolare la probabilità che un residente sia addetto in una determinata zona di traffico.

Servizio	Addetti ai servizi privati	Addetti al commercio
Accessibilità Passiva	0,2	0,105
Popolazione	0,075	0,075
ZTL	0,5	0,5
Addetti totali	0,05	0,05
Centralità (0/1)	0,05	0
Centro Commerciale	1,1	0,5
Area_verde	-0,9	0

Tabella 10: Parametri del modello di localizzazione degli addetti.

4 Validazione

4.1 Validazione del modello del sistema di trasporto

In questo capitolo sono riportati i confronti aggregati per PGTU effettuati tra le stime della domanda attuale ottenute tramite l'applicazione del modello STIT allo scenario di riferimento (2011) e la matrice OD degli spostamenti urbani fornita dall'agenzia della mobilità di Roma al 2011. Questo confronto è necessario al fine di verificare l'affidabilità dei risultati delle simulazioni.

Il modello di generazione e distribuzione (Matrice OD)

Dal confronto dei valori numerici riportati nelle tabelle origine-destinazione per PGTU, si può osservare che in termini percentuali la differenza numerica e percentuale tra il totale degli spostamenti interni all'area di studio (Comune di Roma) stimati dal modello (603.184) e quelli osservati (603.631) è quasi nulla (447 spostamenti). Mentre tali differenze risultano più evidenti se si considerano i totali in entrata e in uscita dalle singole PGTU, in particolare per la PGTU 1.

OD	1	2	3	4	5	ROMA
1	4.031	4.709	1.553	782	1.006	12.081
2	5.393	65.889	16.018	5.856	5.448	98.603
3	6.890	53.329	113.766	21.506	10.942	206.434
4	3.734	26.920	34.461	48.302	10.211	123.628
5	3.565	29.733	28.822	20.230	80.089	162.439
ROMA	23.613	180.580	194.620	96.676	107.695	603.184

Tabella 11: Matrice OD (tutti i motivi) osservata per PGTU dello scenario di riferimento (Agenzia della mobilità).

OD	1	2	3	4	5	ROMA
1	3.648	5.037	3.821	1.177	535	14.217
2	10.882	40.902	29.173	8.972	4.247	94.176
3	17.666	60.199	93.524	27.504	15.237	214.131
4	8.401	30.422	45.711	29.810	15.318	129.662
5	7.708	26.920	42.261	28.340	46.217	151.446
ROMA	48.305	163.479	214.489	95.803	81.554	603.631

Tabella 12: Matrice OD (tutti i motivi) per PGTU dello scenario di riferimento simulato.

OD	1	2	3	4	5	ROMA
1	-383	328	2.268	395	-471	2.136
2	5.489	-24.987	13.155	3.117	-1.201	-4.427
3	10.776	6.870	-20.242	5.998	4.295	7.697
4	4.668	3.502	11.250	-18.492	5.107	6.034
5	4.143	-2.813	13.438	8.111	-33.871	-10.993
ROMA	24.692	-17.101	19.870	-873	-26.141	447

REPORT 2.1 – AZIONI INTEGRATE TRASPORTI-TERRITORIO PER LA SOSTENIBILITÀ:

IL MODELLO MATEMATICO D'INTERAZIONE TRASPORTI-TERRITORIO

Tabella 13: Delta tra le matrici OD (tutti i motivi) riferimento modello e riferimento osservata (Agenzia della mobilità).

OD	1	2	3	4	5	ROMA
1	-10%	7%	146%	50%	-47%	18%
2	102%	-38%	82%	53%	-22%	-4%
3	156%	13%	-18%	28%	39%	4%
4	125%	13%	33%	-38%	50%	5%
5	116%	-9%	47%	40%	-42%	-7%
ROMA	105%	-9%	10%	-1%	-24%	0%

Tabella 14: Delta % tra le matrici OD (tutti i motivi) riferimento modello e riferimento osservata (Agenzia della mobilità)

REPORT 2.1 – AZIONI INTEGRATE TRASPORTI-TERRITORIO PER LA SOSTENIBILITÀ:

IL MODELLO MATEMATICO D'INTERAZIONE TRASPORTI-TERRITORIO

Il modello della scelta modale

Confrontando i valori numerici riportati nelle tabelle origine-destinazione per modo e motivo si può osservare che le uniche differenze riscontrabili tra lo scenario di riferimento (2011) simulato e i valori forniti dall'agenzia della mobilità riguardano gli spostamenti a piedi (-18%). Tale diminuzione di spostamenti a piedi se pur pari al 18%, dal punto di vista quantitativo (-10.112) sul totale di tutti gli spostamenti pedonali e sul totale degli spostamenti per tutti i motivi può essere considerato trascurabile.

	Auto	Moto	TP	Piedi	Tot
Lavoro	187.686	45.122	86.592	18.888	338.288
Studio	12.424	4.986	21.861	3.662	42.934
Università	4.157	4.573	9.678	737	19.145
Altro	99.895	6.590	64.555	31.778	202.818
Tot	304.163	61.271	182.685	55.065	603.184

Tabella 15: Numero di spostamenti per modo nello scenario di riferimento osservato (ATAC).

	Auto	Moto	TP	Piedi	Tot
Lavoro	188.201	44.375	92.619	13.241	338.436
Studio	13.258	4.768	22.053	2.851	42.930
Università	4.510	4.487	9.506	641	19.145
Altro	102.731	7.264	64.906	28.219	203.120
Tot	308.700	60.894	189.084	44.953	603.631

Tabella 16: Numero di spostamenti per modo nello scenario di riferimento simulato.

	Auto	Moto	TP	Piedi	Tot
Lavoro	515	-747	6.027	-5.647	148
Studio	834	-218	192	-811	-4
Università	353	-86	-172	-96	0
Altro	2.835	674	352	-3.559	302
Tot	4.537	-377	6.399	-10.112	447

Tabella 17: Delta degli spostamenti per modo tra lo scenario di riferimento osservato e quello simulato.

	Auto	Moto	TP	Piedi	Tot
Lavoro	0%	-2%	7%	-30%	-24%
Studio	7%	-4%	1%	-22%	-19%
Università	8%	-2%	-2%	-13%	-8%
Altro	3%	10%	1%	-11%	2%
Tot	1%	-1%	4%	-18%	0%

Tabella 18: Delta % degli spostamenti per modo tra lo scenario di riferimento osservato e quello simulato.

4.2 Validazione del modello di localizzazione delle residenze

Per validare i risultati ottenuti dal modello di localizzazione delle residenze sono stati confrontati i valori numerici relativi alla distribuzione di Occupati Alti e Bassi, localizzati nelle singole macro zone Stat (ottenute dall'aggregazione di più zone di traffico), tra lo scenario di Riferimento (2011) e lo scenario di Riferimento simulato dal modello. Dal confronto dei valori numerici dei due scenari non si riscontrano sostanziali differenze, come si può notare dai diagrammi degli scarti di seguito riportati.

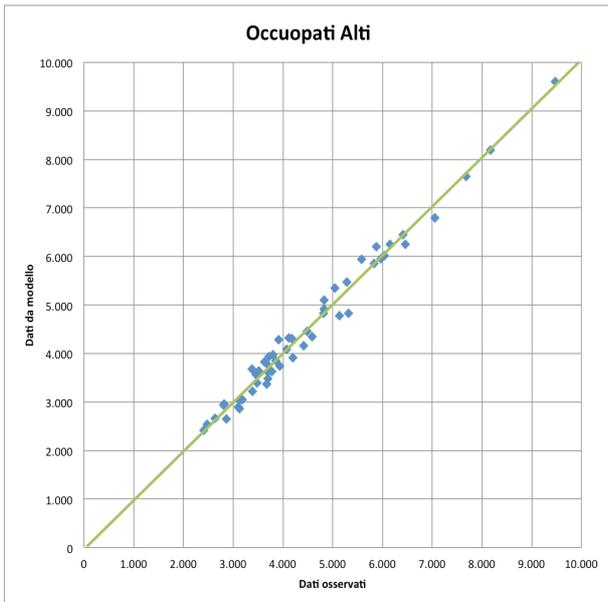


Figura 3: Diagramma degli scarti tra la distribuzione degli occupati alti osservati e simulati nelle 54 macrozone STAT.

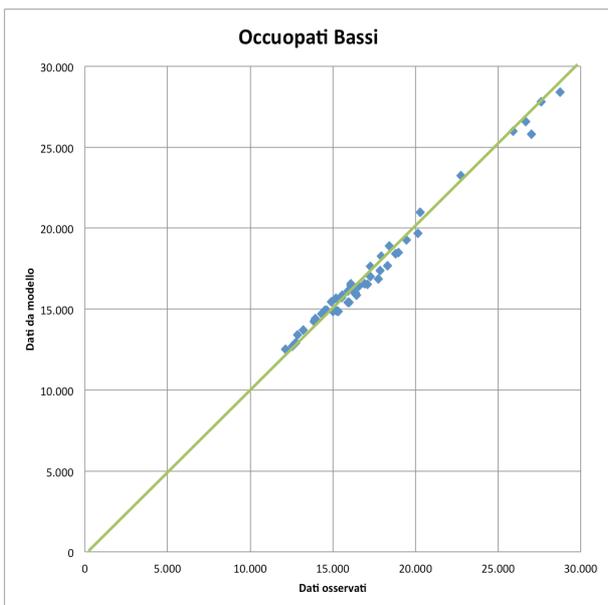


Figura 4: Diagramma degli scarti tra la distribuzione degli occupati bassi osservati e simulati nelle 54 macrozone STAT.

4.3 Validazione del modello di localizzazione delle attività economiche

Per validare i risultati ottenuti tramite il modello di localizzazione delle attività economiche sono stati confrontati i valori numerici relativi alla distribuzione degli addetti ai servizi privati e degli addetti al commercio, localizzati nelle singole macro zone Stat (ottenute dall'aggregazione di più zone di traffico), tra lo scenario di Riferimento (2011) e lo scenario di Riferimento simulato dal modello. Dal confronto dei valori numerici dei due scenari non si riscontrano sostanziali differenze, come si può notare dai diagrammi degli scarti di seguito riportati.

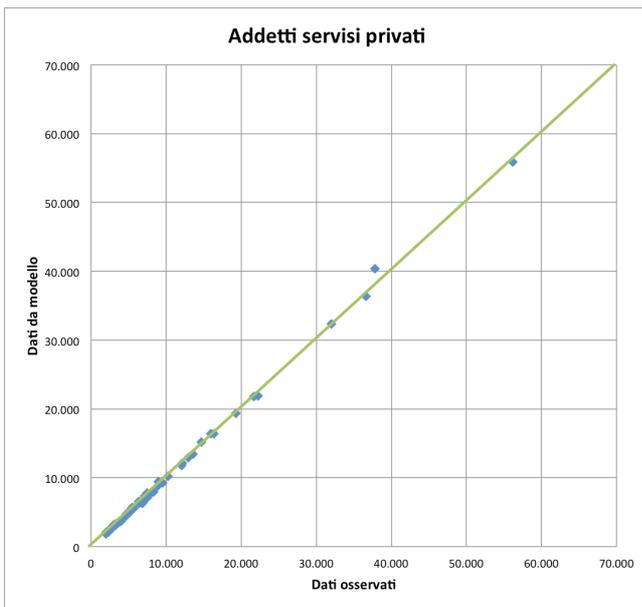


Figura 5: Diagramma degli scarti tra la distribuzione degli addetti ai servizi privati osservati e simulati nelle 54 macrozone STAT.

REPORT 2.1 – AZIONI INTEGRATE TRASPORTI-TERRITORIO PER LA SOSTENIBILITÀ: IL MODELLO MATEMATICO D'INTERAZIONE TRASPORTI-TERRITORIO

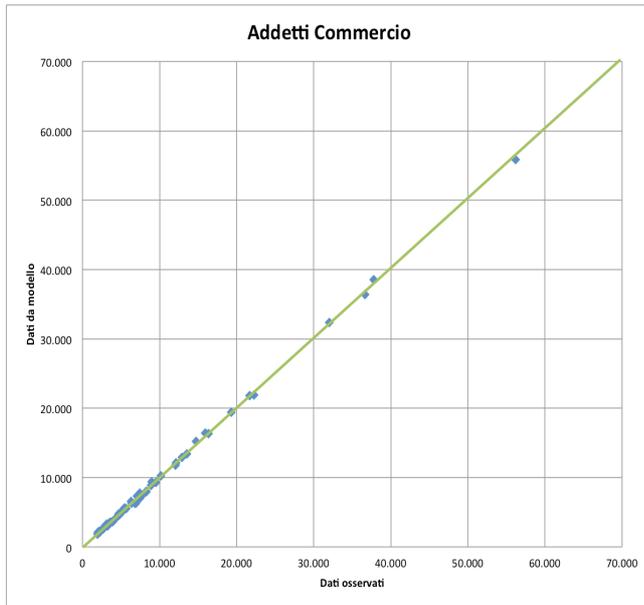


Figura 6: Diagramma degli scarti tra la distribuzione degli addetti al commercio osservati e simulati nelle 54 macrozone STAT.

References

- Cascetta, E. (2001). *Transportation systems engineering: theory and methods* (Vol. 49). Springer.
- Cascetta, E. (2006). *Modelli per i sistemi di trasporto: teoria e applicazioni*. UTET università.
- Comune di Roma (2003). Nuovo piano regolatore generale.
- Coppola, P., & Nuzzolo, A. (2011). Changing accessibility, dwelling price and the spatial distribution of socio-economic activities. *Research in transportation economics*, 31(1), 63-71.
- Nuzzo, A. e Coppola, P. (2006) LUTIM: a Land-Use Transport Interactions Modelling package. Rapporto Interno del Laboratorio Trasporti, Dipartimento d'Ingegneria Civile, Università di Roma "Tor Vergata", Roma.
- Nuzzo, A. e Coppola, P. (2006) LUTIM: a Land-Use Transport Interactions Modelling package. Rapporto Interno del Laboratorio Trasporti, Dipartimento d'Ingegneria Civile, Università di Roma "Tor Vergata", Roma.
- Nuzzolo, A., & Coppola, P. (2007). Quale politica per la mobilità? Il ruolo della pianificazione integrata trasporti-territorio. In *La mobilità nella città metropolitana*.
- Nuzzolo, A., & Coppola, P. (2007). Infrastrutture di trasporto ed assetto territoriale nell'area metropolitana di Roma. *Grandi infrastrutture per la mobilità di trasporto e sistemi metropolitani: Milano, Roma e Napoli*, 29-53.
- Nuzzolo, A., Coppola, P., & della Campania, M. R. S. (2008). Pianificazione integrata trasporti-territorio: casi di studio. In *XXIX Conferenza italiana di scienza regionali*. AISRE.
- Piano Generale del Traffico Urbano (Delibera del Consiglio Comunale n. 84 del 28/6/1999). Dipartimento VII, Comune di Roma.